

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh vodní elektrárny

Hydroelectric Power Plant Project

Student: Jan Meissl

Vedoucí práce: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Meissl**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí  
Téma: **Návrh vodní elektrárny**  
**Hydroelectric Power Plant Project**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Zpracujte návrh malé vodní elektrárny pro vybranou lokalitu.

Práce bude obsahovat:

1. Rešerši na téma využití energie vodních toků.
2. Popis a analýza hydropotenciálu vybrané lokality.
3. Návrh výkonových parametrů a skladby turbín v malé vodní elektrárně.
4. Energetické, ekonomické a environmentální zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.  
KMINIAK, P. *Vodné mikroelektrárny*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1990. ISBN 80-05-00771-X.  
GABRIEL, P., ČIHÁK, F., KALANDRA, P. *Malé vodní elektrárny*. Praha: ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01812-1.  
GULLIVER, J., S., ARNDT, R., E., A. *Hydropower engineering handbook*. 1. vyd. New York: McGraw-Hill, 1991. ISBN 0-07-025193-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016

  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 16.5.2016

Jan Maňal  
podpis student

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2016 .....

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Meissl

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Na Lani 268

Nový Jičín, 74101

# **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

MEISSL, J. *Návrh vodní elektrárny: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2016, 40s.

Vedoucí práce: Vrtek, M.

Bakalářská práce se zabývá popisem a funkcí malé vodní elektrárny a následným návrhem malé vodní elektrárny v konkrétní lokalitě. V první půli se zaměřuje na teoretické otázky jako stavební řešení, strojní řešení a elektrotechnické řešení. Druhá část se zaměřuje na konkrétní lokalitu na řeku Opava v Moravskoslezském kraji. Na základě hydropotenciálu lokality je navržena malá vodní elektrárna. Závěr práce je věnovaný celkovému zhodnocení z pohledu energetického, ekonomického a ekologického.

## **ANOTATION OF BACHELOR THESIS**

MEISSL, J. *Hydroelectric Power Plant Project: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technival University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy Engineering, 2016, 40p. Thesis head: Vrtek, M.

This Bachelor Thesis deals with the description and function of small hydropower plant followed by design of small hydropower plant in specific locality. The first half is focused on theoretical issues such as structural solutions, mechanical solutions and electrical solutions. The second part is focused on a specific location on the river Opava in the Moravian – Silesian Region. Based on the data of hydropower potencial is designed small hydropower plant. The conclusion is devoted to overall evaluation of view of energy, economic and environmental.

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	8
<b>2</b>	<b>Stavební řešení MVE</b>	9
2.1	Vtokové objekty	9
2.1.1	Beztlakové vtokové objekty	9
2.1.2	Tlakové vtokové objekty	10
2.2	Česle	10
2.2.1	Hrubé česle	10
2.2.2	Jemné česle	10
2.3	Přivaděče a odpady	11
2.3.1	Beztlakové přivaděče	11
2.3.2	Tlakové přivaděče	12
<b>3</b>	<b>Strojní zařízení MVE</b>	12
3.1	Vodní motory a jejich dělení	12
3.2	Vodní kolo	12
3.3	Vodní turbíny	13
3.3.1	Peltonova turbína	13
3.3.2	Turgo turbína	14
3.3.3	Bánkiho turbína	15
3.3.4	Francisova turbína	15
3.3.5	Kaplanova Turbína	17
3.4	Odtoková křivka	18
3.5	Převody	18
<b>4</b>	<b>Elektrotechnické zařízení MVE</b>	20
4.1	Elektrický generátor	20
4.1.1	Synchronní generátor	20
4.1.2	Asynchronní generátor	21
4.2	Silnoproudá zařízení	21
<b>5</b>	<b>Návrh konkrétní MVE</b>	21
5.1	Návrh turbíny	22
5.2	Stanovení průměrného průtoku a průměrného využitelného průtoku pro jednotlivé časové intervaly	25
5.3	Stanovení průměrné celoroční účinnosti pro každou turbínu	27
5.4	Stanovení množství vyrobené elektrické energie v jednotlivých časových intervalech	29
5.5	Stanovení množství vyrobené elektrické energie za rok	32
5.6	Odhad investičních nákladů	33

5.7	Odhadovaná doba návratnosti.....	34
5.8	Ekologické zhodnocení.....	35
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>39</b>
<b>9</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>40</b>

# 1 Úvod

Problém se získáváním energie trápí celou řadu zemí, české republiky nevyjímaje. Ať chceme nebo ne, fosilní paliva jednoho dne dojdou a proto musíme přemýšlet o dalších zdrojích. Jako ideální náhrada se na první pohled jeví jaderná energie, avšak ta sebou přináší i značná rizika. Přes všechny tyto problémy se nedá očekávat pokles spotřeby energie, právě naopak. Proto se logicky jeví využití obnovitelných zdrojů jako jedna z cest, zvláště pak využití energie vodní. Vodní energie má celou řadu výhod jako neznečišťuje ovzduší, prakticky nevyčerpatelný zdroj, nezávislost na zahraničí, nízké investiční náklady.

Nutno zmínit, že výstavba nových velkých vodních elektráren je značný zásah do životního prostředí a potenciál pro jejich stavbu již téměř není. Avšak lákavá je výstavba malých vodních elektráren popřípadě rekonstrukce starých a zvyšování jejich účinnost moderními turbínami a soustrojími.

V rešeršní části bakalářské práce jsem se seznámil se stavebním, strojním a elektrotechnickým řešením Malých vodních elektráren (dále jen MVE). V praktické části budu pracovat s konkrétní lokalitou, kde pomocí hydropotenciálu lokality navrhnu výkonové parametry a skladbu MVE. Posléze celý projekt zhodnotím z energetického, ekonomického a ekologického hlediska.



## **2 Stavební řešení MVE**

Tato kapitola je zpracovaná z [1, 3, 4]

Stavební řešení malé vodní elektrárny zcela závisí na vhodném hydraulickém řešení. Do tohoto návrhu lze zařadit všechny objekty, které jsou obtékané vodou. Zde můžeme zařadit vtokové objekty vodních elektráren, lapače písku a usazováky, přivaděče vody (tlakové nebo beztlakové) a odpady vody. Při navrhování jednotlivých objektů musíme mít na paměti, že se navzájem ovlivňují. Zároveň každé vodní dílo je svým způsobem originálem, protože se nikdy nesetkáme se stejnými podmínkami.

Stavební řešení ovlivňuje celkově vodní elektrárnu a každá chyba se může podepsat na finančních nákladech. Za správný návrh je zodpovědný projektant.

### **2.1 Vtokové objekty**

Vtokové objekty jsou součástí každé vodní elektrárny. Jejich úkolem je zajistit přítok vody na vodní turbíny s co možná nejmenšími ztrátami a zároveň zajistit největší hltnost vtokového objektu. Základní požadavky na vtokové objekty:

- Zabránění vniku vzduchu do hydraulického systému vodních turbín a zabránění tvorby vírů na vtoku
- Zabránění proti zanesení jemných česlí na vtoku nečistotami (trávou, listím, ledem)
- Vtokové objekty nesmí být náročné na spotřebu energie a na obsluhu, nejlépe když jsou bezobslužné
- Musí zajistit potřebný přítok vody na turbínu po celou dobu životnosti elektrárny
- Hydraulické ztráty musí být co nejmenší

#### **2.1.1 Beztlakové vtokové objekty**

Beztlakové vtokové objekty slouží k odběru vody do beztlakových přivaděčů vody, nebo jako předložená část tlakových vtoků. Tok vody je beztlakový o volné hladině. Součástí vtoků bývají norné stěny pro zachycení nečistot a práh pro zachycení splavenin, které se sunou po dně. Pro zachycení velkých plovoucích předmětů se používají hrubé česle.

### **2.1.2 Tlakové vtokové objekty**

Tlakové vtokové objekty slouží k přívodu vody přímo na turbínu anebo do tlakového přívaděče, kterým je voda přiváděna k turbíně. Vstupní profil musí být umístěn pod hladinou vody. Součástí bývá práh, který zachytává splaveniny, jemné česle, provizorní hrazení a rychlouzávěr, který umožňuje odstavit hydraulický systém mimo provoz. Za rychlouzávěrem se vyskytuje zavzdušňovací potrubí.

Profil vtoku se navrhuje tak, aby v něm rychlost proudění nepřesahoval 0,8 až 1,2 m/s. Vtok na turbínu má mít plynulý tvar, aby vyvolával co nejmenší odpor. Pro předcházení vírů a strhávání vzduchu do vtoku musí být vtoková hrana zaoblená a ponořená pod minimální provozní hladinu.

## **2.2 Česle**

Česle jsou součástí všech vtokových objektů. Slouží k zachycení plovoucích splavenin, které by mohly poškodit rozváděcí nebo oběžné lopatky turbín a změnit proudění vody. U vodních elektráren používáme dva druhy česlí, jemné a hrubé.

### **2.2.1 Hrubé česle**

Hrubé česle slouží k zabránění vniknutí větších splavenin do hydraulického systému. Jedná se hlavně o plovoucí stromy, ledové kry atd. Přístup k česlím obvykle zajišťuje lávka a, nebo horní plocha norné stěny.

Samotná konstrukce česlí je svislá mřížovina s mezerami jednotlivých česlic 300 – 600 mm. Česlice se navrhuje ze silnostěnných trub o průměru 80 – 150 mm, z důvodu snadnějšího obtékání vodou. Tloušťka stěn trub závisí na jejich rozpětí a zatížení.

Česle jsou dimenzovány na plné ucpání, z toho důvodu se musí počítat se značným hydrostatickým tlakem. Česle se čistí buď ručně, nebo strojně.

### **2.2.2 Jemné česle**

Jemné česle slouží jako další zábrana proti splaveninám. Kromě vodních elektráren nacházejí využití u většiny hydraulických děl. Na rozdíl od hrubých česlích se navrhuje

se sklonem  $60^\circ$  až  $70^\circ$  (u strojně stíraných i  $80^\circ$ ), což umožňuje jejich snadnější čištění. Česlice jsou konstruovány z páskové oceli o průřezu 50x6 až 180x20 mm. Samotné česlice musí mít podpěrný systém, aby vydržely plný hydrostatický tlak vody. Podpěrný systém je tvořen vodorovnými nosníky, které jsou uloženy v bocích profilu česlí.

K ucpání česlí dochází hlavně při povodních, ale také během zimních měsíců a to díky ledu. Česlice jsou také náchylné k namrzání. Profil česlí se navrhuje tak, aby střední rychlost v profilu dosahovala 0,8 až 1,2 m/s. Česle se čistí buď ručně, nebo strojně.

## **2.3 Přivaděče a odpady**

Přivaděče a odpady slouží k tomu, aby dovedly vodu k turbíně a poté co voda odevzdá svoji energii, ji zase odvedly. U malých vodních elektráren se snažíme omezit délku přivaděčů a odpadů, protože přílišná délka odebírá část z původního přirozeného průtoku a značně prodražuje stavbu. Z toho důvodu je nutné navrhnout optimální řešení z hlediska ekonomiky provozu a nároků na obsluhu. Podle funkce dělíme na beztlakové a tlakové. Z konstrukčního hlediska se dělí přivaděče a odpady na kanály, náhony, žlaby, štol, potrubí a šachty.

### **2.3.1 Beztlakové přivaděče**

Beztlakové přivaděče jsou levnější než tlakové, z toho důvodu je vždy upřednostňujeme, je-li to možné. Existují dvě řešení, otevřené a zakryté. Všechny přivaděče musí splňovat tyto podmínky:

- Svahy přivaděče musí být zabezpečeny proti sesuvu či podemletí
- Přivaděčem nesmí prosakovat velké množství vody, aby nebyla ohrožena jeho konstrukce
- Přivaděč musí zajišťovat ochranu před přelitím

Přivaděče mají tvar kanálu o lichoběžníkovém nebo obdélníkovém profilu. Z finančních důvodů se pro utěsnění používá fólie, kterou je třeba chránit před slunečním zářením, nebo vyplavením na povrch terénu. Další způsob těsnění je opevnění betonovou deskou nebo panely.

### **2.3.2 Tlakové přivaděče**

Tlakové přivaděče mají nejčastěji kruhový tvar a stavějí se jako štoly nebo tunely. Používají se k překonání velkých spádů, kde by stavba beztlakového přivaděče byla buď neekonomická anebo nemožná. Jako materiál pro potrubí se používá ocel, litina, železobeton a PVC.

## **3 Strojní zařízení MVE**

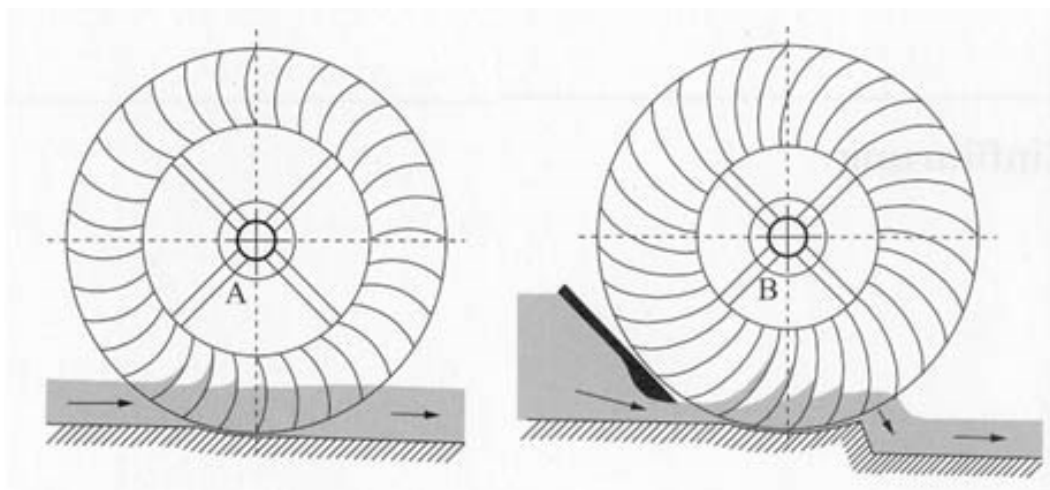
Tato kapitola je zpracovaná z [2, 3, 4, 5, 6]

### **3.1 Vodní motory a jejich dělení**

Vodní motory jsou zařízení, které využívají potenciální, kinetickou, nebo tlakovou energii vody a přeměňují ji na mechanickou práci. Dělí se na vodní kola, turbíny a ostatní vodní stroje. Každý druh vodního motoru má svoje výhody a nevýhody. Právě určení vhodného vodního motoru je jedním z nejtěžších úkolů projektanta, protože neexistuje univerzální typ, který by byl vhodný do všech lokalit. Také nejde tvrdit, že turbína je lepší než vodní kolo. Záleží pouze na dané lokalitě a rozpočtu. Základní rozdíl mezi turbínou a vodním kolem je ve využívání energie vody. Vodní kolo je poháněno převážně tíhou vody, kdež to vodní turbíny využívají kinetickou energii vody.

### **3.2 Vodní kolo**

Jedná se o nejstarší vodní motor, který vznikne postavením překážky vodnímu proudu. Ten působí určitou silou, kterou je možno dále využít. Výhodou vodních kol je, že dokáží relativně dobře pracovat jak za „ velké vody“ tak i za sucha. Nevýhodou vodního kola je časté namrzání přes zimní období, zejména když je kolo po určitou dobu nečinné. Možné řešení je dát vodní kolo do dřevěného, nebo zděného domečku, ve kterém je stálá teplota vody a také menší šance úrazu.



**Obrázek 1:** Poncelotovo vodní kolo [6]

### 3.3 Vodní turbíny

V dnešní době se pro MVE používají tyto typy turbín:

Rovnotlaké (akční) turbíny:

- Peltonova turbína
- Turgo turbína
- Bánkiho turbína

Přetlakové (reakční) turbíny:

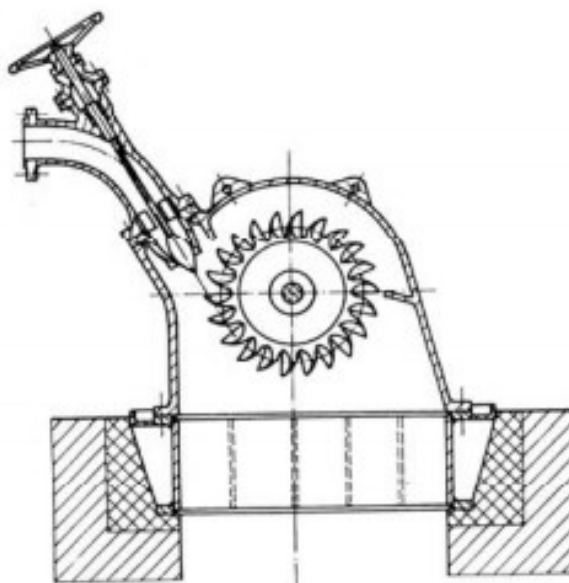
- Francisova turbína
- Kaplanova turbína

#### 3.3.1 Peltonova turbína

Peltonova turbína patří mezi nejčastější typy používaných turbín. Účinnost malých turbín je 80 až 85%, u velkých 85 až 95%. Její velkou výhodou je jednoduché hydraulické i konstrukční řešení. V přivaděči se potenciální energie vody mění na tlakovou. V dýze, která je regulovaná jehlou, se tlaková energie vody transformuje na kinetickou energii. Každá turbína může mít různý počet dýz. U turbín s velkým výkonem to může být až 6, které jsou rozmístěny po obvodu kola.

Lopatka turbíny je rozdělena na dva korečky s výřezem zamezujícím nežádoucímu odchýlení proudu. Počet lopatek je podmíněn tím, aby každá částice vody protékající

turbínou odevzdala rotoru co možná největší díl své kinetické energie. Výkon se reguluje změnou průtoku pomocí posuvné jehly. Šetrnější regulace se dá provést vychýlením části paprsku deflektorem.



**Obrázek 2:** Jednodýzová Peltonova turbína s ruční regulací [2]

### 3.3.2 Turgo turbína

Jedná se o turbínu s parciálním ostřikem, dosahuje účinnosti 85 až 90%. Voda je do turbíny přiváděna potrubím o kruhovém průřezu, které ji doveđe k jedné či více dýzám. V šikmo uložené dýze se voda transformuje na pohybovou energii a vstupuje do oběžného kola. Turbína má zakřivené lopatky, které se snaží otočit směr tekoucí vody zpět. Tato změna směru způsobuje předání energie oběžnému kolu.

Pokud se turbína nedrží ve jmenovitých otáčkách, velmi rychle ztrácí účinnost. Regulace turbíny je zajištěna jehlou, která se zasouvá do dýzy. U menších turbín je posuv jehly zajištěn pomocí šroubu, který se otáčí ručně kolečkem. Větší turbíny mají automatický otáčkový regulátor.

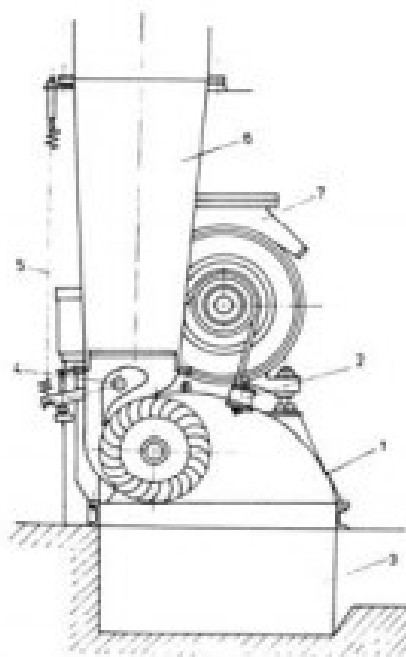
Turbína je vhodná pro malé množství vody při velkých spádech. Má shodné vlastnosti s Peltonovou turbínou, je však levnější, jednodušší a technologicky nenáročná.

### 3.3.3 Bánkiho turbína

Bánkiho turbína je radiální rovnotlaká turbína s tangenciálním ostřikem a s horizontálním hřídelem. Dosahuje účinnosti 78 až 84%. Její nenáročná a jednoduchá konstrukce ji předurčuje k užití v celé oblasti malých vodních elektráren. Je vhodná pro malé výkonnosti s kolísavým průtokem vody. Oběžné kolo má tvar válce, kterého délka při klasickém návrhu představuje asi dvojnásobek jeho venkovního průměru. Turbína využívá tlakový účinek úzkého proudu vody vytékajícího na lopatky oběžného kola.

Kvůli jednoduché konstrukci však nelze dosáhnout teoreticky maximální hodnoty hydraulické účinnosti, která je nižší než účinnost Peltonovy turbíny.

Turbína je jednoduchá na výpočet a poměrně snad realizovatelná i v amatérských podmínkách. I při menší nepřesnosti dokáže dát zaručený výsledek. Pro konstrukci nejsou potřeba žádné speciální materiály, postačuje i obyčejný plech. Je lehce a rychle regulovatelná.

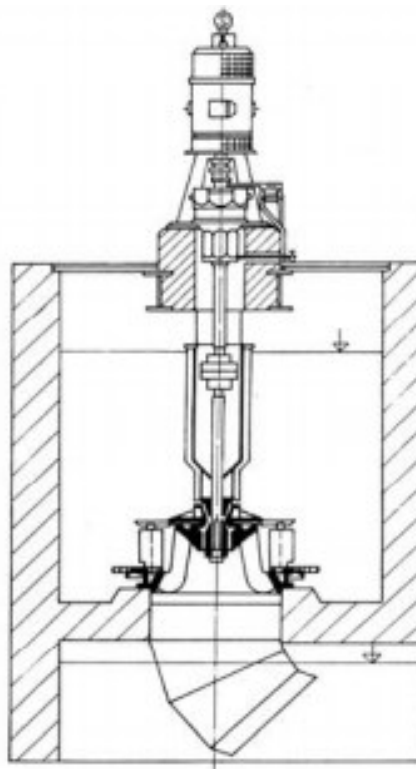


**Obrázek 3:** Bánkiho turbína [2]

### 3.3.4 Francisova turbína

Francisova turbína má dvě provedení podle uložení hřídele a to buď vertikální anebo horizontální. Další dělení je na kašnové, kotlové, spirální a dvojčité.

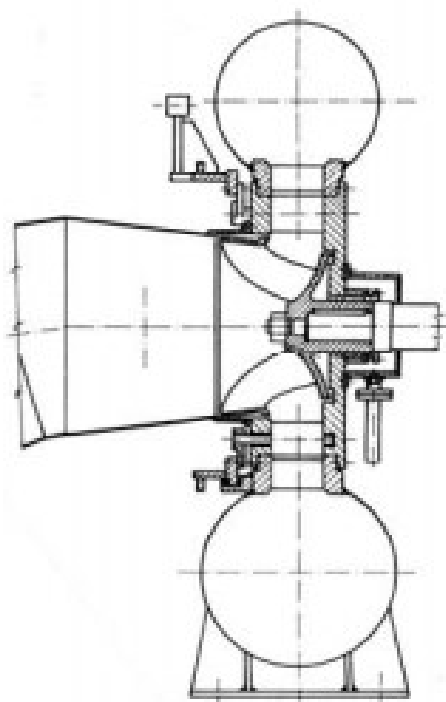
Vertikální kašnová turbína byla hojně využívána v minulosti. Využití našla jako hlavní pohon velkých mlýnů, průmyslových závodů a elektráren. Turbína je umístěná na dně kašny, která je naplněná vodou. Její hřídel vede nahoru do strojovny, která je dost vysoko nad vodou, z důvodu zaplavení. Voda putuje z kašny do rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. Díky rozváděcím lopatkách získává voda směr a rychlost potřebnou pro vstup do oběžného kola. V oběžném kole voda mění směr a rychlost a tím předává svoji energii. Voda dále odtéká do odpadního kanálu. Turbína se používá na menší spády při středních a velkých průtocích 600 – 8000 l/s.



**Obrázek 4:** Vertikální kašnová Francisova turbína [2]

Francisova horizontální turbína je podobná jako vertikální, liší se pouze uložením hřídele, které je horizontální. Také může být kašnová anebo spirální. Kašnová má dvojí řešení savky a to buď suchou anebo mokrou. Samotná turbína je umístěná ve stěně kašny, která je naplněná vodou. Voda putuje k kašny do rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. Voda při průtoku lopatkami získává směr a rychlost, potřebnou pro vstup do oběžného kola. V oběžném kole voda předá svoji energii a pokračuje dále do odpadního kanálu.





**Obrázek 5:** Horizontální spirální Francisova turbína [2]

### 3.3.5 Kaplanova Turbína

Jedná se o vrtulovou turbínu zdokonalenou profesorem Kaplanem na turbínu s natáčivými lopatkami oběžného kola. Kaplanova turbína se používá pro velký rozsah spádů.

Turbína se reguluje jak pomocí rozváděcích lopatek, tak i lopatkami oběžného kola. Obě regulace musí být vzájemně propojeny regulační vazbou. Oběžné kolo má relativně malý počet lopatek, který závisí na spádu (minimum je 3 pro spády do 5m a maximum 10 pro spády nad 60m). Při menších počtech se lopatky nepřekrývají, a tudíž je oběžné kolo v axiálním směru průhledné. Počet lopatek určuje poměr průměru náboje k průměru komory. Musíme dbát, aby v náboji byl dostatek prostoru pro uchycení lopatek a pro regulační mechanismus. U malých soustrojí bývá náboj i plášť válcový, u větších soustrojí kulový.

Problém může dělat spárová kavitace, které vzniká mezi oběžnými lopatkami a komorou. Projevuje se na stěnách komory a také na spodní straně konce oběžných lopatek. Spárovou kavitaci jde omezit úpravou konce lopatky oběžného kola.

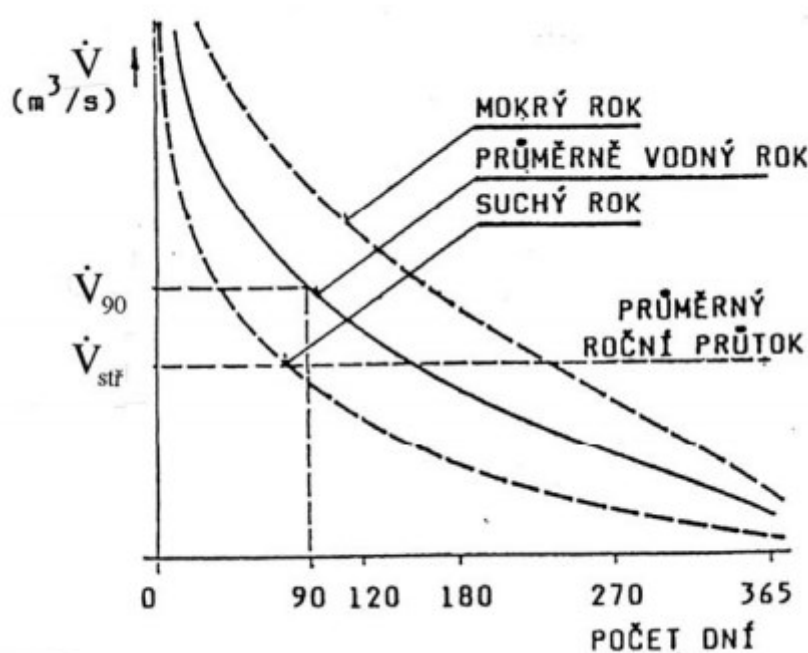
Pro natáčení lopatek oběžného kola se obvykle používá hydraulický pohon podobný hydromotoru.

Kaplanova turbína se používá s vertikální i horizontální osou rotace. Pro větší

soustrojí se navrhuje vertikální osa, pro menší se používá horizontální osa z důvodu menších nároků na stavební a základové práce.

### 3.4 Odtoková křivka

Odtoková křivka znázorňuje zaručený průtok v dané oblasti po určitý počet dní. Malé vodní elektrárny se počítají na množství 90 až 180 denní. Zdroje energie z MVE jsou velmi kolísavé v závislosti na počasí a na ročním období. Také je nutno brát ohled na asanační průtok vody, který je nutno zachovat v řečišti.



Obrázek 6: Obecná odtoková křivka [2]

### 3.5 Převody

U velkých soustrojí bývá obvykle hřídel přímo spojená s turbínou a generátorem. U malých vodních elektráren turbína často nedosahuje potřebných otáček pro provoz generátoru, proto je třeba převod do rychla. Jako převodové ústrojí se používají ozubená soukolí a řetězové a řemenové převody.

#### a) Ozubené převody

Používají se od prvních MVE až po dnešek. Jejich účinnost je až 97% avšak vlivem času může klesnout k 80%. Nejčastěji se používají ozubení čelní nebo kuželová. Podle druhu ozubení pak zuby přímé, šikmé a šípové. Nejlevnější variantou jsou zuby přímé. Maximální převodový poměr může být 1:10, je-li požadován vyšší, musí se použít vícestupňová převodovka. Nejvhodnější je planetová převodovka s účinností až 98% avšak její nevýhodou je vysoká cena.

#### b) Řemenové převody

Patří dnes k nejpoužívanějším a to kvůli svojí jednoduchosti, malé hlučnosti, spolehlivosti a příznivé ceně. Používají se do výkonů 3 MW. Z hlediska konstrukce můžeme dělit na ploché, klínové a ozubené.

Ploché řemeny zvládají převod až 1:15. Obvodová rychlost by neměla přesáhnout 70 m/s. při provozu je nutné dodržet přepětí řemene 1 až 1,5 násobku síly přenášeného výkonu. Účinnost se pohybuje okolo 96 – 97%. Jsou vhodné pro výkony do 500 kW.

Klínové řemeny se používají pro vyšší výkony než ploché asi do 800 kW. V důsledku provozu se řemeny roztahují, proto je potřeba zajistit jejich napínání. Také jsou náročnější na přesnost. V praxi se uplatňuje použití násobných klínových řemenů. Maximální převod je 1:10, přepětí se volí 0,7 až 1 násobku síly tahu přenášeného výkonu. Účinnost je okolo 95%.

Ozubené řemeny patří mezi nejdokonalejší. Používají se pro výkony až 300 kW s účinností 99%. Jsou téměř bezhlučné.

#### c) Řetězové převody

Dosahují účinnosti 98,5%, která ovšem klesá při špatném mazání a malém počtu zubů. Při malých obvodových rychlostech lze použít mazací tuk. Při vyšších rychlostech se používá brodění v olejové lázni. Mají krátkou životnost a velkou hlučnost. Dokáží převést výkon až 5 MW.

## **4 Elektrotechnické zařízení MVE**

Tato kapitola je zpracovaná z [4, 5, 7]

Při navrhování MVE musí mít projektant základní přehled o elektrickém zařízení. Do elektrického systému řadíme:

- Generátor
- Vývody generátoru
- Rozvodna generátorových vývodů
- Blokový transformátor
- Vývody transformátoru
- Venkovní rozvodna (nemusí být)
- Transformátor vlastní spotřeby
- Elektrické motory pomocných zařízení
- Budiče generátorů a pomocná zařízení

### **4.1 Elektrický generátor**

Generátory se podle napětí dělí na malonapěťové (do 50V), nízkonapěťové (50 – 1000 V) a vysokonapěťové (nad 1000V). Další dělení je na střídavé a stejnosměrné.

Stejnosemnné generátory, kterým se také říká dynama, vyrábějí stejnosměrný proud. Ve většině případů bývají nízkonapěťové. Jejich velká výhoda je v možnosti pro použití v širokém rozsahu otáček.

Střídavé generátory se používají pro většinu MVE. Dělí se na synchronní a asynchronní.

#### **4.1.1 Synchronní generátor**

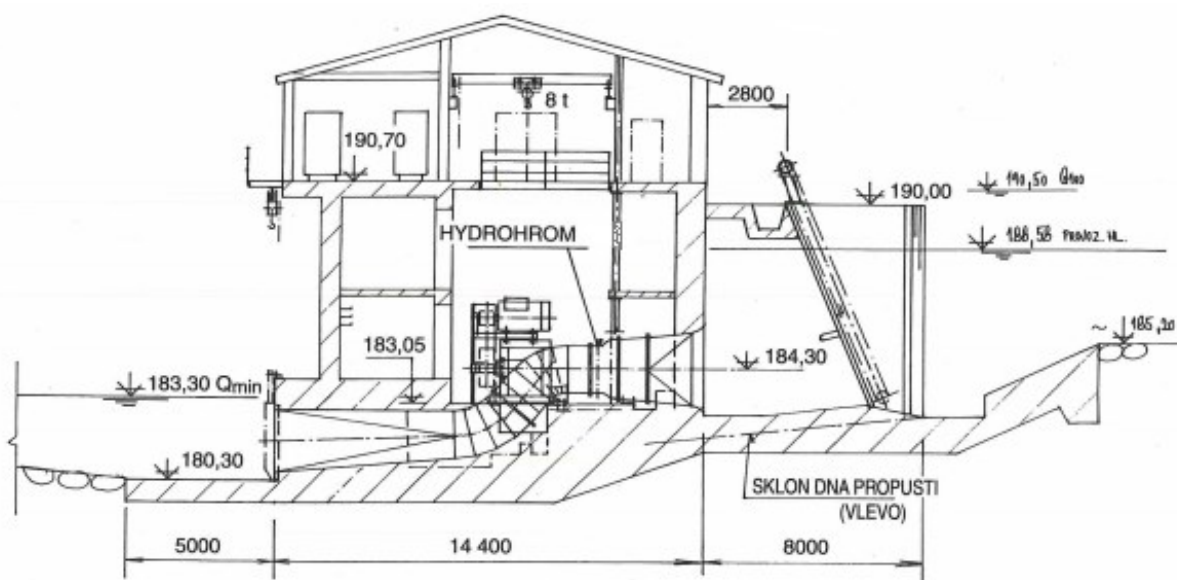
Synchronní generátor se skládá ze statoru se střídavým trojfázovým vinutím a rotoru se stejnosměrným budícím napětím. Generátor dodává do sítě jalový nebo činný výkon. Tento typ generátoru najdeme téměř ve všech velkých elektrárnách. U starších MVE se používaly také, protože elektrárna mohla pracovat nezávisle na provozu napájecí sítě. V dnešní době se pro MVE nepoužívá z důvodu vysoké ceny a větší složitosti.

#### 4.1.2 Asynchronní generátor

Asynchronní generátory slouží pro výrobu elektrické energie hlavně do pevné sítě. Mají stejnou konstrukci jako asynchronní motor. Skládají se ze statoru s trojfázovým střídavým vinutím a z vinutého rotoru s kroužky nebo s klecovým vinutím.

#### 4.2 Silnoproudá zařízení

Silnoproudá zařízení umožňují přenos, transformaci, spínání a jištění vyrobené elektrické energie a k zajištění vlastní spotřeby MVE. Výkon elektrárny se přenáší přípojkou, která se dimenzuje tak, aby byla schopna odolat při co nejmenším průřezu účinku zkratových proudů a nedocházelo zde velkým ztrátám na vedení a úbytku napětí.



**Obrázek 7:** Schéma MVE s turbínou Hydrohrom [7]

### 5 Návrh konkrétní MVE

Tato kapitola je zpracovaná z [7, 8, 9, 10, 11]

Lokalita pro návrh MVE se nachází na řece Opavě konkrétně říční kilometr číslo 16,36. Místo se nachází na levém břehu u dřevěného jezu. Jez je v majetku povodí Odry s.p. V návrhu jsem počítal, že elektrárna bude 2 dny mimo provoz v období maximálních

průtoků. Provozní roční využití MVE je 98% z důvodu nutné odstávky na údržbu atp. Návrh jsem počítal pro dvě turbíny o různých průměrech oběžného kola. Uvažoval jsem také o dvou stejných turbínách, ale nakonec jsem zvolil každou jinou z důvodu pokrytí většího rozsahu průtoků.

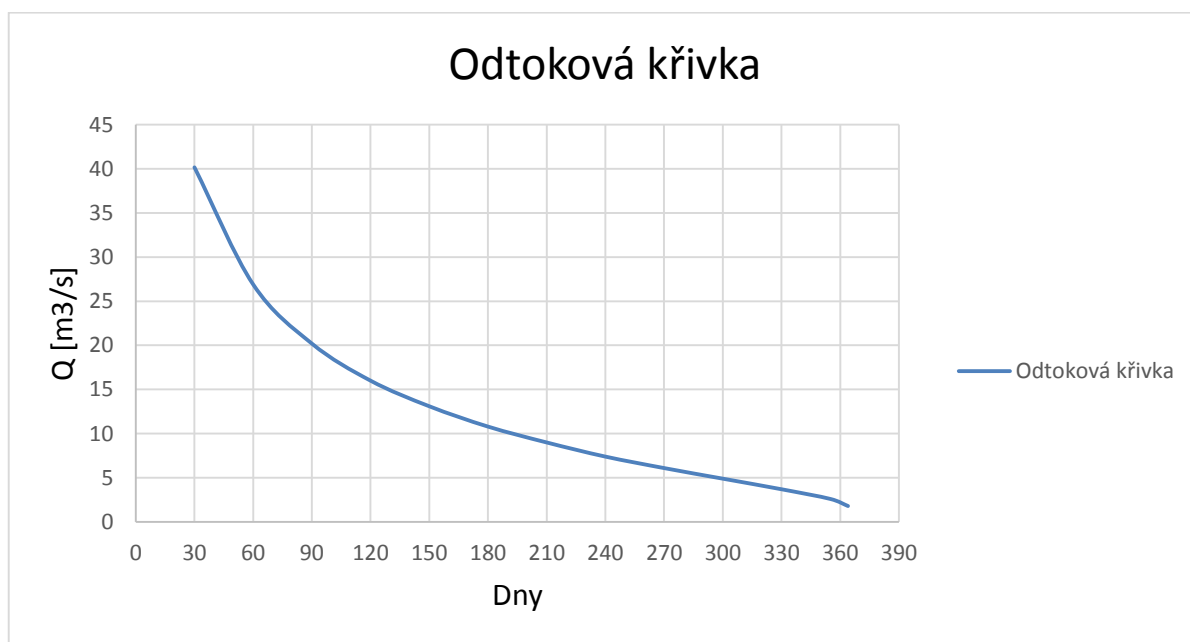
Hydropotenciál hodnocené lokality:

- Jmenovitý spád  $H = 3\text{m}$ ,
- Asanační průtok  $Q_{\text{asan}} = 2\text{ m}^3/\text{s}$
- Odtoková křivka, která je uvedena v tabulce č. 1

$T$ [Dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	40,2	26,9	20,2	16	13,1	10,8	9	7,4	6,1	4,9	3,7	2,6	1,8

**Tabulka 1:** Odtoková křivka

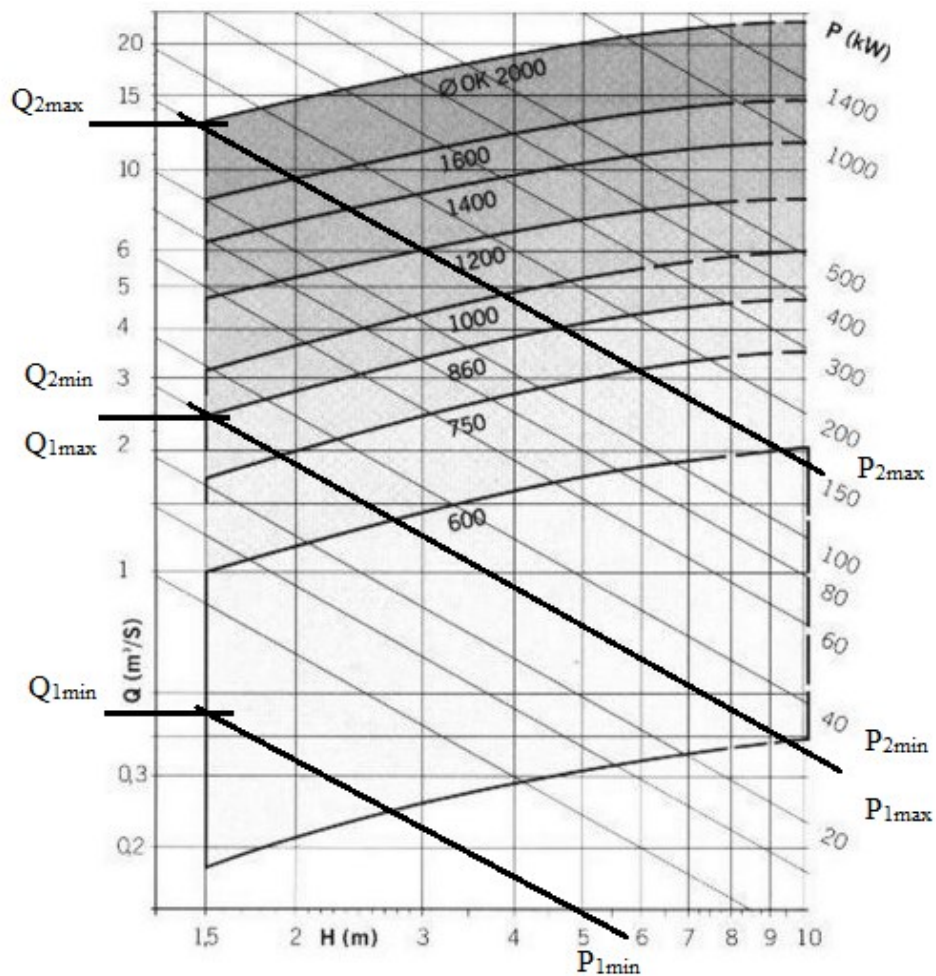
Pro lepší představu jsem odtokovou křivku vykreslil do grafu.



**Obrázek 8:** Odtoková křivka konkrétní lokality

## 5.1 Návrh turbíny

Podle diagramu, který je na obrázku 8, jsem vybral dvě horizontální S-turbíny typu S-Kaplan od firmy Hydrohrom. Do diagramu jsem zvýraznil minimální a maximální průtoky pro jednotlivé turbíny a k nim odpovídající výkony. Tyto hodnoty jsem použil pro další výpočty.



**Obrázek 9:** Parametry průtoků a výkonů turbíny S-Kaplan [7]

V diagramu je použita logaritmická stupnice. Abych mohl přesně určit minimální a maximální průtoky a výkony pro jednotlivé turbíny, musím použít pravidla pro logaritmování.

#### Určení základu logaritmu

K určení základu logaritmu jsem vycházel z rovnice (1).

$$y = \log_x a - \log_x b \text{ [cm]} \quad (1)$$

Kde:  $y$  vzdálenost mezi průtoky grafu,  
 $a$  hodnota průtoku na konci vzdálenosti  $y$ ,  
 $b$  hodnota průtoku na začátku vzdálenosti  $y$ ,  
 $x$  základ logaritmu.

Dosazení do rovnice (1).

$$171 = \log_x 20 - \log_x 0,2$$

$$171 = \log_x \frac{20}{0,2}$$

$$\log_x 100 = 171$$

$$x^{171} = 100$$

$$x = \sqrt[171]{100}$$

Výpočet průtoků pro jednotlivé turbíny

Vycházím z rovnice (1).

$$\log a = y \log x + \log b$$

$$a = 10^{y \log x + \log b} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (2)$$

- Minimální průtok přes první turbínu Ø OK 860

$$Q_{1min} = a = 10^{39 \log \sqrt[171]{100} + \log 0,2}$$

$$Q_{1min} = 0,57 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

- Maximální průtok přes první turbínu Ø OK 860

$$Q_{1max} = a = 10^{97 \log \sqrt[171]{100} + \log 0,2}$$

$$Q_{1max} = 2,70 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

- Minimální průtok přes druhou turbínu Ø OK 2000

Rovná se maximálnímu průtoku přes první turbínu.

$$Q_{2min} = Q_{1max} = 2,70 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

- Maximální průtok přes druhou turbínu Ø OK 2000

$$Q_{2max} = a = 10^{156 \log \sqrt[171]{100} + \log 0,2}$$

$$Q_{2max} = 13,35 \text{ [m}^3/\text{s]}$$



### Montáž turbíny Hydrohrom

Montáž turbíny se provádí do hotové stavby. Doba montáže turbíny a elektrozařízení, s uvedením soustrojí do provozu, je cca 3 dny. Hydrohrom dodává kompletní zařízení soustrojí včetně ovládacího elektrorozvaděče. Elektrorozvaděč obsahuje přístroje vyvedení výkonu, sekvenční automat, obvody zabezpečovací automatiky a hladinové regulace. Elektrické ochrany zabezpečovací automatiky firmy Hydrohrom jsou schváleny Státní zkušebnou.



**Obrázek 10:** Montáž turbíny HYDROHROM [7]

### **5.2 Stanovení průměrného průtoku a průměrného využitelného průtoku pro jednotlivé časové intervaly**

Výpočet průměrného průtoku  $Q_{stř}$  jsem provedl tak, že jsem sečetl oba průtoky  $Q$  z odtokové křivky za daný časový interval a vydělil dvěma. Průměrný využitelný průtok  $Q_{využ}$  jsem stanovil podle průměrného průtoku, od kterého jsem odečetl asanační průtok  $Q_{asan}$ . Výpočet pro všechny časové intervaly jsem zapsal do tabulky č. 2.

$\tau$	$\Delta\tau$	$Q_{asan}$	$Q_{stř}$	$Q_{využ}$
[dny]	[dny]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
0-30	28	2	40,16	38,16
30-60	30	2	33,53	31,53
60-90	30	2	23,55	21,55
90-120	30	2	18,1	16,1
120-150	30	2	14,55	12,55
150-180	30	2	11,95	9,95
180-210	30	2	9,9	7,9
210-240	30	2	8,2	6,2
240-270	30	2	6,75	4,75
270-300	30	2	5,5	3,5
300-330	30	2	4,3	2,3
330-355	25	2	3,15	1,15
355-364	9	2	2,2	0,2

**Tabulka 2:** Vypočítané průtoky

Kde:  $\tau$  časový interval,  
 $\Delta\tau$  počet dní v intervalu,  
 $Q_{asan}$  asanační průtok,  
 $Q_{stř}$  průměrný průtok za časový interval,  
 $Q_{využ}$  využitelný průtok za časový interval.

Příklad výpočtu pro interval 30 – 60 dnů:

$$Q_{stř\ 30-60} = (Q_{30} + Q_{60})/2 \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (3)$$

$$Q_{stř\ 30-60} = (40,2 + 26,9)/2 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{stř\ 30-60} = 33,53 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{využ\ 30-60} = Q_{stř\ 30-60} - Q_{asan} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (4)$$

$$Q_{využ\ 30-60} = 33,53 - 2 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{využ\ 30-60} = 31,53 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

### 5.3 Stanovení průměrné celoroční účinnosti pro každou turbínu

K výpočtu potřebuju určit výkony pro jednotlivé průtoky. Pro výpočet výkonů jsem určil základ logaritmu obdobným způsobem jako u průtoků pomocí rovnice (1) a dále jsem počítal podle rovnice (2).

Určení základu logaritmu:

$$128 = \log_x 1400 - \log_x 20$$

$$128 = \log_x \frac{1400}{20}$$

$$x = \sqrt[128]{70}$$

Výpočet výkonu pro průtok 0,57 m<sup>3</sup>/s.

$$P_{1min} = a = 10^{39 \log \sqrt[128]{70} - \log 20}$$

$$P_{1min} = 5,48 \text{ [kW]}$$

Ostatní výkony nemusím počítat, protože jdou odečíst z grafu na obrázku č. 9.

Výkon pro průtok 2,70 m<sup>3</sup>/s.

$$P_{1max} = P_{2min} = 30 \text{ [kW]}$$

Výkon pro průtok 13,35 m<sup>3</sup>/s.

$$P_{2max} = 150 \text{ [kW]}$$

Minimální a maximální účinnost vypočítáme podle rovnice (5).

$$\eta = \frac{P}{\rho \cdot Q \cdot g \cdot H} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

Kde:	P	výkon pro odpovídající průtok,
	$\rho$	hustota,
	Q	průtok turbínou,
	g	gravitační zrychlení,
	H	spád.

Účinnost pro turbínu Ø OK 860:

$$\eta_{1min} = \frac{P_{1min}}{\rho \cdot Q_{1min} \cdot g \cdot H} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta_{1min} = \frac{5480}{1000 \cdot 0,57 \cdot 9,81 \cdot 1,5} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta_{1min} = 65 [\%]$$

$$\eta_{1max} = \frac{P_{1max}}{\rho \cdot Q_{1max} \cdot g \cdot H} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta_{1max} = \frac{30000}{1000 \cdot 2,70 \cdot 9,81 \cdot 1,5} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta_{1max} = 75 [\%]$$

Průměrnou celoroční účinnost vypočítám tak, že sečtu minimální a maximální a podělím je dvěma.

$$\emptyset \eta_1 = \frac{\eta_{1min} + \eta_{1max}}{2} [\%] \quad (6)$$

$$\emptyset \eta_1 = \frac{65 + 75}{2} [\%]$$

$$\emptyset \eta_1 = 70 [\%]$$

Účinnost pro turbínu Ø OK 2000:

$$\eta_{2min} = \frac{P_{2min}}{\rho \cdot Q_{2min} \cdot g \cdot H} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta_{2min} = \frac{30000}{1000 \cdot 2,70 \cdot 9,81 \cdot 1,5} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta_{2min} = 75 [\%]$$

$$\eta_{2max} = \frac{P_{2max}}{\rho \cdot Q_{2max} \cdot g \cdot H} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta_{2max} = \frac{150000}{1000 \cdot 13,35 \cdot 9,81 \cdot 1,5} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta_{2max} = 76 [\%]$$

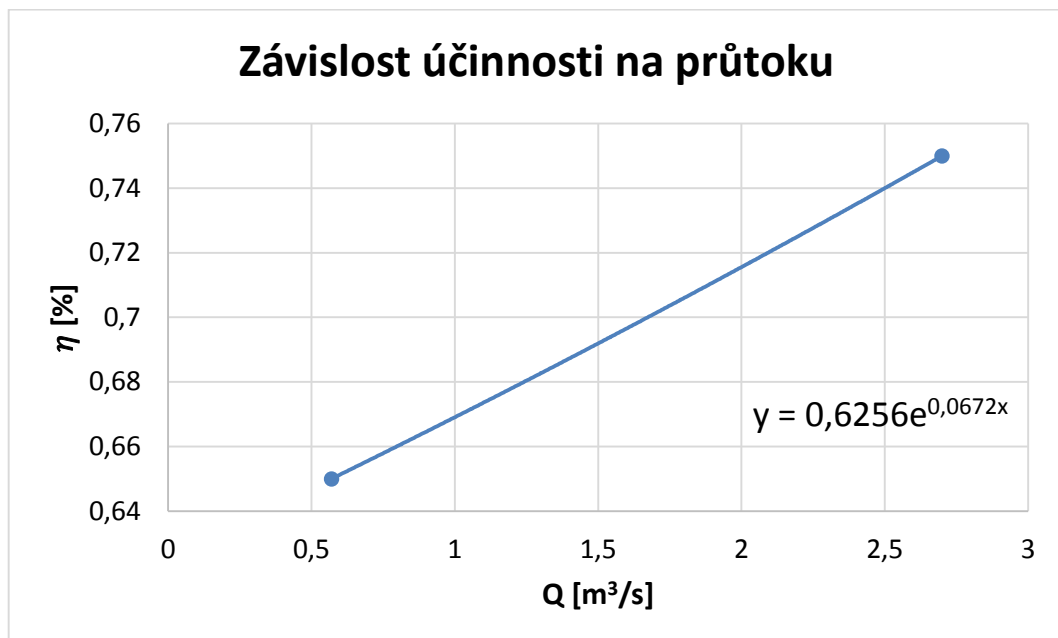
$$\bar{\eta}_2 = \frac{\eta_{2min} + \eta_{2max}}{2} [\%]$$

$$\bar{\eta}_2 = \frac{75 + 76}{2} [\%]$$

$$\bar{\eta}_2 = 75,5 [\%]$$

#### 5.4 Stanovení množství vyrobené elektrické energie v jednotlivých časových intervalech

Jelikož je u první turbíny velký rozdíl mezi minimální a maximální účinností, rozhodl jsem se udělat graf, kterým jsem proložil spojnicí trendu. Zobrazil jsem rovnici regrese, kterou jsem využil k výpočtu účinnosti v jednotlivých intervalech.



**Obrázek 11:** Závislost účinnosti na průtoku turbíny Ø OK 860

Vypočítané hodnoty pro první turbínu Ø OK 860.

$T$	$\Delta T$	$Q_{vyu\check{z}}$	$P$	$A_{el}$	$\eta$
[dny]	[dny]	[m <sup>3</sup> /s]	[kW]	[kWh]	[%]
0-30	28	38,16	30	20160	75
30-60	30	31,53	30	21600	75
60-90	30	21,55	30	21600	75
90-120	30	16,1	30	21600	75
120-150	30	12,55	30	21600	75
150-180	30	9,95	30	21600	75
180-210	30	7,9	30	21600	75
210-240	30	6,2	30	21600	75
240-270	30	4,75	30	21600	75
270-300	30	3,5	30	21600	75
300-330	30	2,3	25	18000	73
330-355	25	1,15	11	6600	67
355-364	9	0,2	0	0	0

**Tabulka 3:** Množství elektrické energie pro Ø OK 860

Kde:  $T$  časový interval,  
 $\Delta T$  počet dní v intervalu,  
 $Q_{vyu\check{z}}$  využitelný průtok za časový interval,  
 $P$  výkon,  
 $A_{el}$  předpokládané množství vyrobené el. energie za časový interval,  
 $\eta$  účinnost.

Příklad výpočtu prvního řádku:

Účinnost:

Výpočet jsem provedl podle rovnice regrese na obrázku č. 10. Za  $x$  jsem dosadil vždy daný průtok.

$$\eta = 0,6256 \cdot e^{0,0672 \cdot x} \cdot 100 [\%] \quad (7)$$

$$\eta_{0-30} = 0,6256 \cdot e^{0,0672 \cdot 2,70} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta_{0-30} = 75 [\%]$$

Kde:  $x$  využitelný průtok v daném časovém intervalu.

Výkon:

$$P = \rho \cdot Q_{vyu\check{z}} \cdot g \cdot H \cdot \eta [kW] \quad (8)$$

$$P_{0-30} = 1000 \cdot 2,70 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 0,75 [kW]$$

$$P_{0-30} = 30 [kW]$$

Kde:  $\rho$  hustota,  
 $Q_{vyu\check{z}}$  využitelný průtok za časový interval,  
 $g$  gravitační zrychlení,  
 $H$  spád,  
 $\eta$  účinnost.

Množství vyrobené elektrické energie:

$$A_{el} = P \cdot \Delta T \cdot 24 [kWh] \quad (9)$$

$$A_{el\ 0-30} = 30 \cdot 28 \cdot 24 [kWh]$$

$$A_{el\ 0-30} = 20160 [kWh]$$

Kde:  $P$  výkon,  
 $\Delta T$  počet dní v časovém intervalu,  
 $24$  počet hodin v jednom dni.

Vypočítané hodnoty pro druhou turbínu Ø OK 2000.

$T$	$\Delta T$	$Q_{vyu\check{z}}$	$P$	$A_{el}$	$\eta$
[dny]	[dny]	[m <sup>3</sup> /s]	[kW]	[kWh]	[%]
0-30	28	38,16	150	100800	75,5
30-60	30	31,53	150	108000	75,5
60-90	30	21,55	150	108000	75,5
90-120	30	16,1	150	108000	75,5
120-150	30	12,55	139	100080	75,5
150-180	30	9,95	111	79920	75,5
180-210	30	7,9	88	63360	75,5
210-240	30	6,2	69	49680	75,5
240-270	30	4,75	53	38160	75,5
270-300	30	3,5	39	28080	75,5
300-330	30	2,3	0	0	0
330-355	25	1,15	0	0	0
355-364	9	0,2	0	0	0

**Tabulka 4:** Množství elektrické energie pro Ø OK 2000

Výpočet probíhá stejně jako u první turbíny. V tomto případě jsem nehledal rovnici regrese, protože rozdíl mezi minimální a maximální účinností turbíny je zanedbatelná. Maximální výkon, který je schopna turbína přenést je 150 kW při účinnosti 75,5 %.

## Turbíny v provozu

Počet turbín v provozu se bude měnit podle využitelného průtoku. Jakmile využitelný průtok dosáhne hodnoty  $0,57 \text{ m}^3/\text{s}$  tak se spustí první turbína. Když využitelný průtok stoupne na hodnotu  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , což je maximální průtok první turbíny, tak se turbína vypne a zapne se druhá. Až dosáhne využitelný průtok  $13,35 \text{ m}^3/\text{s}$  tak se opět zapne první turbína a obě turbíny půjdou společně.

$\tau$ [dny]	$Q_{\text{využ}}$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$\varnothing \text{OK } 860$	$\varnothing \text{OK } 2000$
		$A_{\text{el-860}}$ [kWh]	$A_{\text{el-2000}}$ [kWh]
0-30	38,16	20160	100800
30-60	31,53	21600	108000
60-90	21,55	21600	108000
90-120	16,1	21600	108000
120-150	12,55	0	100080
150-180	9,95	0	79920
180-210	7,9	0	63360
210-240	6,2	0	49680
240-270	4,75	0	38160
270-300	3,5	0	28080
300-330	2,3	18000	0
330-355	1,15	6600	0
355-364	0,2	0	0

**Tabulka 5:** Množství vyrobené el. energie každou turbínou s ohledem na jejich provozní dobu

## 5.5 Stanovení množství vyrobené elektrické energie za rok

Množství vyrobené elektrické energie za rok jsem určil tak, že jsem sečetl množství elektrické energie vyrobené v jednotlivých intervalech obou turbín viz. tabulka č. 5.

Množství vyrobené el. energie za rok:

$$A_{\text{el-rok}} = \sum A_{\text{el-860}} + \sum A_{\text{el-2000}} \text{ [kWh]} \quad (10)$$

$$A_{\text{el-rok}} = 109560 + 784080 \text{ [kWh]}$$

$$A_{\text{el-rok}} = 893640 \text{ [kWh]}$$



Kde:  $A_{el-860}$  množství vyrobené el. energie turbínou Ø OK 860,  
 $A_{el-2000}$  množství vyrobené el. energie turbínou Ø OK 2000.

Do vyrobeného množství el. energie za rok musím také zohlednit provozní roční využití MVE, které je 98% z důvodu nutné údržby.

Reálné množství vyrobené el. energie za rok:

$$A_{el,R-rok} = A_{el-rok} \cdot m \text{ [kWh]} \quad (11)$$

$$A_{el,R-rok} = 893640 \cdot 0,98 \text{ [kWh]}$$

$$A_{el,R-rok} = 875767 \text{ [kWh]}$$

Kde:  $A_{el-rok}$  množství vyrobené el. energie za rok bez odstávky,  
 $m$  součinitel využití MVE ( $m = 0,98$ ).

## 5.6 Odhad investičních nákladů

Kapitola je zpracovaná z [10].

Investiční náklady jsem odhadl pomocí vyhlášky č. 475/2005 sb., která udává celkové měrné investiční náklady v závislosti na ročním využití instalovaného výkonu MVE.

Součinitel instalovaného výkonu:

$$K_{cr} = \frac{A_{el,R-rok}}{P_I \cdot h_{rok}} [-] \quad (12)$$

$$K_{cr} = \frac{875767}{180 \cdot 8760} [-]$$

$$K_{cr} = 0,55 [-]$$

Kde:  $A_{el,R-rok}$  reálné množství vyrobené el. energie za rok,  
 $P_I$  instalovaný výkon,  
 $h_{rok}$  počet hodin v roce ( $h_{rok} = 8760$ ).

Roční využití instalovaného výkonu:

$$R_v = K_{cr} \cdot h_{rok} [kWh/kW_e] \quad (13)$$

$$R_v = 0,55 \cdot 8760 [kWh/kW_e]$$

$$R_v = 4818 [kWh/kW_e]$$

Kde:  $K_{cr}$  součinitel instalovaného výkonu,  
 $h_{rok}$  počet hodin v roce ( $h_{rok} = 8760$ ).

Celkové investiční náklady:

Celkové investiční náklady jsem odhadl vyhlášky č. 475/2005 sb. ročnímu využití instalovaného výkonu 4818 kWh/kW<sub>e</sub> odpovídají celkové měrné investiční náklady 110 000 Kč/kW<sub>e</sub>.

$$N = P_l \cdot MIN [Kč] \quad (14)$$

$$N = 180 \cdot 110\,000 [Kč]$$

$$N = 19\,800\,000 [Kč]$$

Kde:  $P_l$  instalovaný výkon,  
 $MIN$  měrné investiční náklady.

## 5.7 Odhadovaná doba návratnosti

Tato kapitola je zpracovaná z [9]

K odhadnutí doby návratnosti jsem musel zjistit výkupní cenu elektrické energie pro malé vodní elektrárny. Tu jsem zjistil z vyhlášky č. 9/2015 sb., kterou vydal energetický regulační úřad. Výkupní cena za elektřinu pro MVE v nových lokalitách je 3230 Kč/MWh.

Zisk:

$$Z = A_{el,R-rok} \cdot Vc [Kč] \quad (15)$$

$$Z = 875767 \cdot 3,23 [Kč]$$

$$Z = 2\,800\,000 [Kč]$$

Kde:  $A_{el,R-rok}$  reálné množství vyrobené el. energie za rok,  
 $V_c$  výkupní cena.

#### Odhadovaná doba návratnosti:

Odhadovanou dobu návratnosti jsem určit podílem nákladů a zisku z prodeje elektrické energie.

$$NA = \frac{N}{Z} [roků] \quad (16)$$

$$NA = \frac{19\,800\,000}{2\,800\,000} [roků]$$

$$NA = 7 [roků]$$

Kde:  $N$  náklady,  
 $Z$  zisk z prodeje el. energie.

## 5.8 Ekologické zhodnocení

Tato kapitola je zpracovaná z [8]

Odhadl jsem množství emisí, které by se nemuselo vyprodukovat, kdyby takto navržená MVE dodávala do sítě elektrickou energii. Výpočet je vztažen k černouhelné elektrárně Dětmárovice. Emisní faktory této elektrárny jsem získal od firmy ČEZ, a.s. a jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Emise [kg/GJ]				
TZL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
0,004	0,064	0,13	0,005	90,756
Ušetřené emise [kg]				
13	201	410	16	286132

**Tabulka 6:** Emisní faktory a ušetřené emise [8]

Kde: TZL Tuhé znečišťující látky,  
SO<sub>2</sub> Oxid siřičitý,  
NO<sub>x</sub> Oxidy dusíku,  
CO Oxid uhelnatý,  
CO<sub>2</sub> Oxid uhličitý.

Převod:

Nejprve jsem musel převést množství vyrobené elektrické energie na GJ a následně vynásobit s danými emisními faktory.

$$1 [kWh] = 3,6 [MJ]$$

$$A_{el,R-rok} = 875767 \cdot 3,6 [MJ] \quad (17)$$

$$A_{el,R-rok} = 3152761 [MJ] = 3152 [GJ]$$

Kde:  $A_{el,R-rok}$  reálné množství vyrobené el. energie za rok

Příklad výpočtu pro TZL (tuhé znečišťující látky):

$$TZL_{ušetřeno} = TZL \cdot A_{el,R-rok} [kg] \quad (18)$$

$$TZL_{ušetřeno} = 0,004 \cdot 3152 [kg]$$

$$TZL_{ušetřeno} = 13 [kg]$$

Kde:  $TZL$  tuhé znečišťující látky, které vyprodukuje elektrárna Dětmarovice  
 $A_{el,R-rok}$  reálné množství vyrobené el. energie za rok převedené na [GJ]

Stejným způsobem jsem vypočítal zbylé emise.

## 6 Závěr

V rešeršní práci jsem popsal základní části MVE a jejich fungování. Je potřeba si uvědomit, že v ČR nejsou úplně ideální podmínky pro výstavbu velkých vodních elektráren. Je to z důvodu toho, že naše řeky nemají dostatečné množství vody a potřebný spád. Potenciál pro velké vodní elektrárny je téměř vyčerpán. Na výrobě elektrické energie se vodní elektrárny v ČR podílejí z 4%. Naproti tomu potenciál pro malé vodní elektrárny zde stále je. A to i díky tomu, že ČR se nachází na rozvodí tří moří a řeky zde pramení. V praxi se to řeší tak, že se staré MVE se modernizují a tím pádem zvyšuje jejich účinnost, nebo se staví nové, popřípadě obnovují na již zaniklých místech.

V praktické části práce jsem se soustředil na samotný návrh MVE na konkrétní lokalitě. Pomocí hydropotenciálu lokality jsem navrhl výkonovou část a skladbu MVE. Lokalita se nachází na levém břehu řeky Opava na říčním kilometru č. 16,36. Nachází se zde dřevěný jez, který je v majetku Povodí Odry s. p. Byl jsem postaven mezi dvě varianty realizace a to buď použiji dvě stejně velké turbíny anebo každou turbínu jinou. Obě varianty mají svoje výhody, já se rozhodl, že použiju každou turbínu jinou, z důvodu využití většího rozsahu spádů. V závěru práce jsem provedl zhodnocení po stránce energetické, environmentální a ekonomické. Investiční náklady na vybudování této MVE by činily 19,8 mil. Kč. Ročně takto navržená MVE vyprodukuje 876 MWh elektrické energie. Při zisku z prodeje elektrické energie 2,8 mil. Kč za rok bude návratnost investice 7 let. Kdyby se tato elektrická energie dostala do sítě, ročně by se ušetřilo 13 kg tuhých znečišťujících látek, 201 kg SO<sub>2</sub>, 410 kg NO<sub>x</sub>, 16 kg CO a 286132 kg CO<sub>2</sub>. Počet emisí je vztažen k černouhelné elektrárně Dětmarovice.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] GRABRIEL, Pavel, František ČIHÁK a Petr KALANDRA. *Malé vodní elektrárny*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01812-1.
- [2] KAMINSKÝ, Jaroslav a Mojmír VRTEK. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava, 1998. ISBN 80-7078-445-8.
- [3] KMINIAK, Pavel. *Vodné mikroelektrárne*. 1990. ISBN 80-05-00771-X.
- [4] *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/>
- [5] HURTEČÁK, Jan. *Vodní energie* [online]. Tábor, 2013 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: [http://zelenymost.cz/files/vodni\\_energie.pdf](http://zelenymost.cz/files/vodni_energie.pdf)
- [6] *Vodní kola* [online]. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: [http://www.vodnikola.cz/typy\\_vodnich\\_kol.html](http://www.vodnikola.cz/typy_vodnich_kol.html)
- [7] *Vodní turbíny* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.hydrohrom.cz/>
- [8] *Emisní faktory* [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/emisni-faktory-pro-ucely-zpracovani-energetickeho-auditu-a-energetickeho-posudku.html>
- [9] *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/462898/151229\\_CR\\_POZE\\_9\\_2015.pdf/e8c97a46-2870-47c6-9f11-8f4a97145ab1](https://www.eru.cz/documents/10540/462898/151229_CR_POZE_9_2015.pdf/e8c97a46-2870-47c6-9f11-8f4a97145ab1)
- [10] Vyhláška o podpoře obnovitelných zdrojů: Příloha č. 3. In: 475. ročník 2005, částka 166.
- [11] VRTEK, Mojmír. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava, 2015. Přednáška. VŠB-TU Ostrava.

## 8 Seznam tabulek

<b>Tabulka 1:</b> Odtoková křivka .....	22
<b>Tabulka 2:</b> Vypočítané průtoky .....	26
<b>Tabulka 3:</b> Množství elektrické energie pro Ø OK 860 .....	30
<b>Tabulka 4:</b> Množství elektrické energie pro Ø OK 2000 .....	31
<b>Tabulka 5:</b> Množství vyrobené el. energie každou turbínou s ohledem na jejich provozní dobu .....	32
<b>Tabulka 6:</b> Emisní faktory a ušetřené emise.....	35

## 9 Seznam obrázků

<b>Obrázek 1:</b> Poncelotovo vodní kolo [6].....	13
<b>Obrázek 2:</b> Jednodýzová Peltonova turbína s ruční regulací [2].....	14
<b>Obrázek 3:</b> Bánkiho turbína [2].....	15
<b>Obrázek 4:</b> Vertikální kašnová Francisova turbína [2].....	16
<b>Obrázek 5:</b> Horizontální spirální Francisova turbína [2].....	17
<b>Obrázek 6:</b> Obecná odtoková křivka [2] .....	18
<b>Obrázek 7:</b> Schéma MVE s turbínou Hydrohrom [7] .....	21
<b>Obrázek 8:</b> Odtoková křivka konkrétní lokality .....	22
<b>Obrázek 9:</b> Parametry průtoků a výkonů turbíny S-Kaplan [7] .....	23
<b>Obrázek 10:</b> Montáž turbíny HYDROHROM [7].....	25
<b>Obrázek 11:</b> Závislost účinnosti na průtoku turbíny Ø OK 860.....	29